

## VYUŽITÍ EXPERTNÍHO SYSTÉMU PRO IDENTIFIKACI VAD ODLITKŮ

### THE USE OF EXPERT SYSTEM FOR IDENTIFICATION OF CASTING DEFECTS

Y. KRÁLOVÁ<sup>1</sup>, T. ELBEL<sup>2</sup>

**ABSTRAKT:** Kontrola slévárenských vad je přímo spojena s ekonomikou slévárenské výroby. Správná a rychlá identifikace vady odlitku je cestou k omezení jejího výskytu. Silným nástrojem pro identifikaci vad je expertní systém. Je to počítačový program založený na znalostech expertů pro řešení jakosti odlitků. Představujeme systém, který se skládá ze tří oddělených modulů: identifikace, diagnóza / příčiny a prevence / náprava. Identifikace vad odlitků je v současné podobě založena na jejich vizuálním vzhledu.

**ABSTRACT:** Control of castings rejection is directly connected with the economy of foundry production. The proper and fast recognition of casting defect is the way to the elimination. The powerful tool for defect diagnosis is an expert system. It is computer program based on knowledge of experts for solving the quality of castings. We present the system which consists of three separate modules: identification, diagnosis / causes and prevention/remedy. The identification of casting defects in the actual form of system is based on their visual aspect

**KLÍČOVÁ SLOVA :** expertní systém , identifikace vad odlitků

**KEY WORDS :** Expert system, identification of casting defects

#### 1 ÚVOD

Zvyšování kvality odlitků a jejich výroba bez vad je zásadní úkol každé slévárny pro udržení své schopnosti konkurence na trhu. Každodenní sledování procesu výroby, zjišťování počtu zmetků a správná identifikace vad je důležitou součástí managementu jakosti. Spolu s vyhodnocením vedení tavby, kvality formovací směsi a dalších parametrů výroby forem a jader lze vyvodit důsledky k odstranění příčin dané vady. Je to komplikovaný proces, protože na vznik vad odlitků mají dále vliv i fyzikální a fyzikálně chemické jevy, které probíhají během lití, tuhnutí a chladnutí ve formě. Své sehrává také lidský faktor. Dokonalý technologický postup může být zcela znehodnocen nekvalitní prací formíře nebo jádraře, stejně tak jako vyrobením nekvalitní formovací směsi, tekutého kovu, způsobem lití, ošetřením nálitků, čistírenským zpracováním atp. [1]

Správná identifikace vady je hlavním problémem slévačů po celou dobu historie slévárenství. Umět řídit jakost ve slévárenství znamená umět určit neshody (vady) a znát postupy, jak těmto neshodám předcházet. Diagnostika vady je klíčem ke snížení nákladů ve slévárně. Důležitou součástí správné identifikace vady je určení příčiny jejího vzniku. Je potřeba znát co nejvíce údajů o výrobním procesu a o podmínkách výroby jednotlivých odlitků. Zejména u sériové výroby by měla být zajištěna sledovatelnost výroby. Slévárna provádí různá měření a výsledky eviduje a archivuje. Jsou tak známy chemické složení jednotlivých taveb kovu, parametry formovacích směsí, teploty formy, kovu a jiné vlastnosti. Výpočetní technika a různé programy, které jsou ve slévárnách dnes k dispozici, umožňují vytvářet databanky informací o vadách odlitků, jejich příčinách a výsledcích realizace přijatých opatření k odstranění vady a jejich prevenci. [8]

<sup>1</sup> Ing. Yvetta Králová – Katedra slévárenství, FMFI, VŠB-TU Ostrava, doktorandka

<sup>2</sup> prof. Ing. Tomáš Elbel, CSc. – Katedra slévárenství, FMFI, VŠB-TU Ostrava

Rozvoj výpočetní techniky umožňuje vytvoření expertních systémů (ES). Jsou to počítačové programy, které řeší problémy ve specifických vědních a technických oborech formou logických informací, které jsou v nich uloženy. Existuje velký prostor pro tvorbu těchto programů, které následně mohou sloužit slévacům a přispívat k rychlé a správné identifikaci vady, stanovení příčiny jejího vzniku a provedení nápravných opatření, což vede k růstu jakosti odlitků i zvyšování produktivity práce ve slévárně.

## 2 SEZNÁMENÍ S EXPERTNÍMI SYSTÉMY

Myšlenka využít ES pro řešení vad odlitků je stará více než dvacet let. Jejimi průkopníky ve slévárství byli H. Roshan a H. Sudesh [2]. Umělá inteligence (Artificial Intelligence/AI) je oblast počítačové vědy, která se zabývá návrhem a vývojem inteligentních počítačových systémů. Velmi úspěšnou oblastí AI jsou počítačové systémy založené na vědomostech (Knowledge Based Computer Systems/KBCS) neboli Expertní systémy, jak se jim populárně říká. Tyto systémy obsahují kolekci faktů, základních pravidel a relevantních dat o dané oblasti. Dokáží řešit konkrétní problémy v dané oblasti s použitím logiky uvedené v programech. Slévárny mohou získat značný užitek z těchto systémů.

Ve své nejjednodušší formě se ES snaží přiřadit fakta, která jsou do něj zadána se symptomy nebo podmínkami, o kterých ví. Program používá tuto evidenci buď k doporučení nebo k podniknutí nějakého opatření.

Většina ES má čtyři základní komponenty: akviziční modul, datovou základnu, dedukční nástroj a obslužný interface. Akviziční modul je interface mezi zbytkem programu a lidským expertem, který instaluje speciální poznatky, jež z programu činí specifický druh expertu. Akviziční modul se stará o interakce mezi lidským expertem, který vytváří požadovanou

strukturu datového stromu, a datovým technikem, který vytváří datovou základnu ve formě, jež je srozumitelná pro počítačový systém. Datový strom je jednou formou vyjádření dat, kde vztahy mezi objekty a kritériem pro provedení rozhodnutí se zobrazují ve formě stromu a/nebo.

Uživatelský interface požaduje po uživateli informace a zobrazuje rady z programu. Vysvětluje také, proč systém pokládá konkrétní dotazy nebo jak došel ke konkrétnímu závěru. Dedukční nástroj obsahuje řídicí mechanismus pro daný program a poskytuje strategii pro vyřešení problémů. V podstatě určuje, v jakém sledu se mají provést jednotlivé dedukce, zkontrolovat teorie nebo shromáždit důkazy.

Jádrem ES je soubor Pravidel a Dedukční nástroj. Když se ES vyvíjí zcela nově, pak je většina práce zaměřena na definování souboru Pravidel, která budou uložena spolu s programem a na výběr strategie pro Dedukční nástroj pro využívání dat/vědomostí. Data/vědomosti mohou být v ES reprezentovány celou řadou způsobů a struktura IF-THEN/KDYŽ-TAK je jedním z nich.

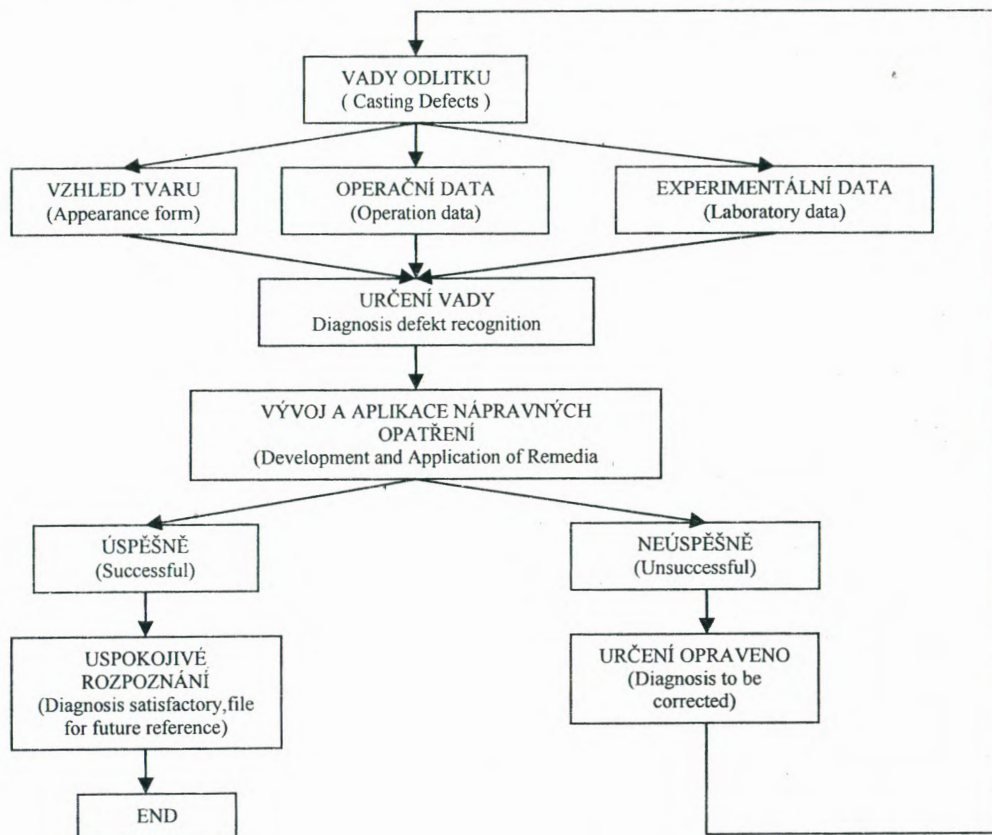
Existuje několik základních požadavků na tvorbu ES jako jsou:

- Musí existovat uznávaný profesionál nebo skupina lidí, kteří mají expertní znalosti potřebné k vyřešení problému v dané oblasti.
- Tyto osoby by měly mít tyto znalosti nebo by měly být schopny úsudku na základě značně pokročilé expertízy.
- Daný profesionál by měl být schopen vyjádřit své znalosti nebo úsudek a zkušenosti logickým nebo metodickým způsobem. Série studií a jejich řešení odvozená logickým způsobem by pomohly řádnému návrhu ES.
- Zvolený úkol musí být jasně specifikovaný.
- Velmi všeobecná a povrchní datová základna jako je přiřazování jednoduchých atributů (jako v případě výběru materiálů pouze na základě fyzikálních vlastností) nemůže vyvodit žádné konkrétní výhody KBCS.

Bylo rozhodnuto, že pro CDAD (Casting Defect Analysis and Diagnosis) program je ideální 3-úrovňová struktura. První krok DEFCHAR obsahuje pravidla pro určení vady odlitku na bázi jejího vzhledu. Druhý krok CAUSE analyzuje příčinu vady (kterou určil modul DEFCHAR) s konkrétním odkazem na nesprávný postup při tavení v indukční peci/kuplovně. Třetí a poslední krok „RECOMMENDATIONS“ („DOPORUČENÍ“) spočívá ve výběru vhodného řešení k odstranění dané



vady. Takto konstruované logické podmínky pro analýzu vady jsou vhodné pro libovolný typ expertního systému, který dokáže akceptovat pravidla ve formě podmínek IF-THEN-ELSE. Blokový diagram zobrazující kroky při analýze slévárenských vad je znázorněn na **Obr. 1**. [2]



**Obr. 1** - Blokový diagram znázorňující jednotlivé kroky v analýze slévárenských vad

Autoři [9] se ve svém příspěvku rovněž zabývají systémy založenými na vědomostech tzv. KBS (Knowledge-based Systems). Mnoho problémů ve slévárenské výrobě je příliš komplexních a nemohou být snadno odděleně řešeno pomocí tradičních algoritmických technik. Jejich řešení často spoléhá na využití empirických znalostí nebo expertisy získávané po mnoho let. Ačkoliv algoritmicky založené konvenční programy umí zpracovávat data k výslednému řešení, neumí pohotově pracovat s lidskými zažitými znalostmi a jejich heuristickými úvahami z pracovních procesů. Navíc zažité znalosti a sami experti jsou vzácní a může být obtížné a nákladné je získat. Počítačové expertní systémy však mohou řešit některé specifické slévárenské problémy, které jinak nemohou být řešeny konvenčními počítačovými programy a kde lidská expertisa není rychle dostupná. Navíc takové systémy umožňují efektivní prostředky k podchycení zkušeností slévárenských expertů na trvalé bázi.

KBS poskytují systémové prostředí, kde lze spojit lidské zkušenosti se schopností počítačů k řešení specifických problémů. Mohou být aplikovány při řešení širokého okruhu problémů ve slévárenské výrobě a jedním z dobrých příkladů je identifikace vad odlitků. Bylo prokázáno, že takové systémy se mohou rychle vyvíjet s využitím komerčních nástrojů, které nevyžadují zkušené softwarové programátory.

Vzorový prototyp KBS, který využívá expertní systém založený na výrobních pravidlech, byl vytvořen pro kontrolu slévárenských vad. Systém se nyní skládá ze tří oddělených modulů:

- Modul pro diagnózu slévárenských vad,
- Modul pro identifikaci příčin a prevenci vzniku vad
- Modul pro zobrazení vad .

Současný stav vývoje systému je omezen na odlitky ze slitin železa odlévané do pískových forem. Nicméně o dalším rozmachu těchto KBS se uvažuje. Když mohou plně rozvinuté a naimplementované takovéto KBS poskytnout řadu výhod v kontrole vad odlitků napříč celým spektrem slévárenské výroby, stejně tak mohou být efektivním výcvikovým nástrojem pro identifikaci vad odlitků. [9]

Možnost využití ES k rychlé a správné identifikaci vady, stanovení příčiny vzniku vady a provedení nápravných opatření inspirovala také pracovníky závodu sléváren TATRA a.s. [3] k vytvoření vlastního ES vyhodnocování vad odlitků počítačem, který bude hodnotit vadu podle jejích příznaků. Jádrem každého ES je databáze znalostí, která zachycuje znalosti expertů, inferenční (odvozovací) mechanismus a vstupní informace uživatele (databáze dat). Inferenční mechanismus hledá řešení problému na základě vstupních informací uživatele a to s využitím databáze znalostí. Urychlení celé realizace podpořily zprávy z literatury, že takové systémy existují a dále skutečnost, že pro vytvoření báze znalostí mohli autoři použít znalosti kolektivu expertů z různých pracovišť [1]. Program pro rozhodování byl vypracován v TURBO Pascalu 5.0 pro osobní počítač kompatibilní s IBM PC AT (pro češtinu byl použit kód Kamenických). Tento ES nebyl upraven pro spuštění aplikace v Microsoft na moderních počítačích a z tohoto důvodu se přestal používat.

Později se objevily u nás i v zahraničí nové informace o využití ES pro řešení vad odlitků. Např. výzkum využití ES v oblasti diagnostiky penetrace kovu a povrchových vad od náterů [4]. Záměrem těchto výzkumů bylo prozkoumat používání objektivě orientovaných ES v technologii diagnostikování a analýzy zmíněných vad a k doporučení nápravných opatření. Systém doporučení zahrnuje kvantitativní předpisy pro změny v technologii a postupů, které vedou k odstranění vady. Systém byl implementován na mikropočítačový program, který s rozšířenými grafickými schopnostmi podporuje identifikaci vad. Systém [4] má široké využití ve slévárenském průmyslu a je považován za počáteční krok směrem k vývoji komplexnějších systémů.

Další příspěvek [5] se zabývá možností aplikovat diagnostiku a analýzu vad odlitků na webových stránkách internetu. Moynihan a kol. vycházeli ze skutečnosti, že mnoho malých sléváren může postrádat vnitropodnikovou expertizu k dostatečnému řešení problematiky vad odlitků. Implementace ES na internetu připouští širokou distribuci expertizy do různých sléváren. Účelem těchto výzkumů je vyvinout prototyp webového ES pro diagnostiku a analýzu vad. Tato práce naznačila další možnost využití internetu.

### 3 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

Současnou snahou autorů příspěvku je oživit program slévárny TATRA tak, aby se mohl přepracovaný ES používat na PC. Znalostní databáze původního ES,, již citovaná kniha [1] i a samotná původní aplikace ES, se staly podkladem k vytvoření ES identifikace vad odlitků v informačním systému (IS) Visual FoxPro. Tento IS lze spustit na osobním počítači uživatele - pracovníka slévárny.

Systém obsahuje tři úrovně:

- identifikace vady podle vnějších příznaků
- diagnóza a příčiny vady
- prevence a léčba.

Při vytváření ES byly příznaky vad rozděleny do 13 skupin. Uvnitř skupin je určitý počet možných variant příznaků. U každé skupiny se mlčky (automaticky) předpokládá příznak „0“ – ani jedna z níže uvedených možností. Seznam skupin příznaků je uveden v **Tab. 1**.



**Tab. 1 – Seznam skupin příznaků slévárenských vad**

Číslo skupiny	Příznak vady
1	Poloha materiálu vůči povrchu odlitku
2	Drsnost povrchu vady
3	Umístění vady vůči povrchu odlitku
4	Tvar vady
5	Rozložení, průběh vady
6	Umístění vady vůči formě
7	Barevný vzhled a jiné zvláštní aspekty
8	Doprovodná vada
9	Technologické okolnosti související s vadou
10	Vada obsahuje
11	Materiál odlitku
12	Materiál formy
13	Vzhled lomové plochy

V každé z uvedených 13 skupin je různý počet příznaků (průměrně 9, maximálně 22). Na první obrazovce aplikace si uživatel vybere ze dvou voleb:

1. Identifikace vady podle vnějších příznaků
2. Seznam vad s jejich číselným označením.

Pokud uživatel zvolí volbu ad 1, bude podle vnějšího vzhledu vady na odlitku volit v jednotlivých obrazovkách aplikace příznaky vady tak dlouho, až se na poslední obrazovce objeví číslo vady s jejím popisem, příčinou jejího vzniku, způsobem zjištění vady a opatřením k odstranění dané vady, eventuálně odkazem na literaturu. Číslování vad a textový popis čerpá z knihy „Vady odlitků ze slitin železa“ [1] a na základě posledních výzkumů bude aktualizován. Popis příznaku vady byl vypracován pro 72 druhů vad dle nové klasifikace vad odlitků [1], včetně jejich číselného vyjádření.

Při volbě ad 2 se na další obrazovce zobrazí seznam všech vad, uživateli se kliknutím na číslo vady zobrazí popis zvolené vady, příčiny jejího vzniku, způsob zjištění vady a opatření k odstranění dané vady, eventuálně odkazy na literaturu. Do databáze vad odlitků by se daly uložit i digitální snímky jednotlivých vad, které by si uživatel mohl nechat zobrazit a porovnávat je s konkrétní novou situací. Tento postup je vhodný pro ty uživatele, kteří určí vadu odlitku sami a chtějí získat údaje o této vadě a místo listování v knize komunikují s počítačem.

ES by se dále mohl rozšířit o databázi dat, do které by si uživatel sám vkládal údaje ke každému odlitku (nebo sérii odlitků), např. o vedení tavby, chemickém složení taveniny, její teplotě odlévání, vlhkosti formovací směsi, době tuhnutí, způsobu čištění odlitku. Zpracování těchto údajů pomůže správně identifikovat příčiny vady, následně umožní zabránit vzniku vad odlitků a tím zvýšit jejich kvalitu.

Neustálý vývoj výpočetní techniky nabízí další možnost řešení diagnostiky vad odlitků – využití vědní disciplíny umělých neuronových sítí. Neuronové sítě jsou již poměrně dlouhou dobu předmětem pozornosti mnoha vědeckých a výzkumných pracovníků v oblasti informatiky a výpočetní techniky po celém světě, ale též řady pracovníků jiných oborů, kteří v nich vidí velmi atraktivní nástroj pro účelnější a ekonomičtější řešení řady konkrétních úloh, než které jsou schopny poskytnout dosud obvyklé metody počítačové a informační technologie. První aplikací pro slévárenství naznačil Vondrák a kol. [6].

Systematickou práci o využití umělých neuronových sítí v metalurgii a materiálovém inženýrství publikovala Jančíková [7]. V současné době se začínají neuronové sítě uplatňovat v různých oblastech diagnostiky a stávají se součástí systému řízení jakosti ocelárenských výrobků (CAQ). Vstupy do neuronové sítě jsou parametry diagnostikovaného objektu a výstupy např. logické hodnoty určující přítomnost určitého příznaku, který se vyskytne u zkoumaného objektu. Neuronové sítě se

stále více využívají v oblasti znalostního inženýrství v aplikaci na problém diagnostiky a predikce vad různých typů ocelářských výrobků, k rozpoznávání a klasifikaci jako např. rozpoznávání a klasifikace mikrostruktury a velikosti zrna apod.

#### 4 ZÁVĚR

Použití metod sloužících k určování metalurgických, slévárenských a jiných příčin vad odlitků je neoddelitelnou součástí komplexního systému zabezpečení jakosti výroby a odlitků. Expertní systémy se stávají mocným nástrojem pro slévače při identifikaci a analýze příčin vzniku vady na odlitku a také jsou jednou z možností, jak zajistit vyšší jakost odlitků a snížení nákladovosti na zmetky. Autoři příspěvku se budou dále věnovat rozvoji vlastního ES podle naznačeného postupu, včetně využití umělých neuronových sítí.

#### PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl zpracován za finanční podpory MPO ČR v rámci řešení projektu FT-TA 5/089.

#### LITERATURA

- [1] ELBEL, T.a kol. : Vady odlitků ze slitin železa / MATECS: Brno, 1992.
- [2] ROSHAN, H., SUDESH, H.: Expert system for casting defect analysis / Exchange Paper No. 15 from 56-ft. World Foundry Congress, CIATF, Düsseldorf, 1989 .
- [3] ELBEL, T., SVOBODA, L.: Identifikace druhu vad odlitků podle jejich příznaků / Přednáška na konferenci Vady odlitků III, Kopřivnice , 2003
- [4] MOYNIHAN, G. et al. : Development of an Expert System to Diagnose Penetration and Coating Surface Defects on Casting. Transactions / AFS, vol. 109, 2001, p. 1-5.
- [5] MOYNIHAN, G. et al. : Web-Based Expert System for Casting Defekt Diagnosis and Analysis. Transactions / AFS, vol. 111, pp. 5-9, 2003.
- [6] VONDRÁK, I. et al. : Neurální expertní systémy v diagnostice vad odlitků / In Sborník přednášek Moderní slévárenské technologie, DT Brno, 2002, s. 50-57
- [7] JANČÍKOVÁ, Z.: Umělé neuronové sítě v materiálovém inženýrství / Monografie GEP ARTS Ostrava, 2006.
- [8] ELBEL, T. : Vady odlitků – Identifikace vad odlitků a příčin jejich vzniku / Slévárenství č. 9, 2001, str. 499-503
- [9] EHMET, E., KONDIC, V.: Knowledge-based systems and their application in casting defects control / Warwick Manufacturing Group, University of Warwick, Coventry, CV4 7AL, UK